

学校编码: 10384  
学号: 21220051302283

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_  
UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于遥感技术的厦门城市热岛效应研究

A Study on Urban Heat Island Effect Based on Remote  
Sensing in Xiamen

林永善

指导教师姓名: 曹文志 教授

专 业 名 称: 环 境 管 理

论文提交日期: 2008 年 11 月

论文答辩时间: 2008 年 12 月

学位授予日期: 2008 年 月

答辩委员会主席: 朱木兰教授

评 阅 人: 朱木兰教授

薛东辉副研

2008 年 11 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为(流域生态过程和流域管理)课题(组)的研究成果,获得(流域生态过程和流域管理)课题(组)经费或实验室的资助,在(流域生态过程和流域管理)实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名): 林永善

2008 年 12 月 8 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（    ☒    ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：林永善

2008 年 12 月 8 日

厦门大学博硕士论文摘要库

## 摘 要

城市热岛是指城市温度明显高于郊区，形成类似高温孤岛现象。高分辨率的卫星热红外遥感技术在城市热岛效应研究中发挥着越来越重要的作用，许多学者利用遥感技术开展有关城市热岛效应的研究工作。随着厦门经济的发展，城区扩展迅速，造成大量绿地消失，水域面积减少，而城市不透水面面积剧增，相应地厦门城市热岛形成并不断加剧。本研究利用遥感技术分析厦门城市热岛效应。

首先，基于 Landsat 遥感数据，利用分层分类法进行厦门市下垫面分类。出于 TM/ETM+ 图像的空间分辨率特征和城市热岛效应的研究需要，把厦门市土地覆盖确定为 7 类。通过 TM/ETM+ 图像光谱特征和归一化差异型指数分析，提出分层分类法的步骤。利用 ERDAS IMAGINE 遥感软件，沿着分类步骤，逐类地提取土地信息，最终获得厦门市土地覆盖分类图。精度评价结果显示，厦门市地表分类精度高，达到分类标准的要求。

其次，基于 Landsat 和 MODIS 遥感数据，利用覃志豪单波段算法和 Jiménez 单波段算法反演厦门市地表温度。在反演算法的参数中，大气总水汽含量是从 MODIS 数据反演得到。在厦门南部的海域，利用 MODIS 的 SST 产品评价地表温度反演算法的精度，发现 Jiménez 单波段算法的反演精度最高。分析厦门地表温度发现，高温区主要出现在交通用地、工业区、商业中心和高密度居住区。从 2001 年到 2006 年，厦门地表高温区面积扩大。

然后，计算厦门城市热岛效应强度，分析地表温度与土地覆盖的关系。计算结果发现，厦门城市热岛效应强度在增加。地表温度与水体、植被存在负相关关系，不透水面和裸土会使地表升温。

最后，提出一些减缓厦门城市热岛效应的措施。

**关键词：**城市热岛；分层分类法；单波段反演

## Abstract

Urban heat island (UHI) refers to a similar heat island phenomenon that the urban temperature is significantly higher than the outskirts. High-resolution thermal infrared remote sensing technology is playing an increasingly important role in the UHI studies, and many of the scholars have used remote sensing technology to carry out UHI studies. With the development of Xiamen's economy, the rapid expansion of urban areas resulted in a large number of disappearing green space and water area, and increasing impervious area; correspondingly, Xiamen UHI appeared and became worse. This study analyzes Xiamen UHI effect by remote sensing technology.

First, based on Landsat data, land surface of Xiamen is classified using the method of hierarchical classification. According to the need of the study on UHI effect and the characteristics of spatial resolution of TM/ETM+ images, Xiamen land surface is classified into 7 categories. Based on the conclusions of analysis of the spectral characteristics and the normalized difference indexes of TM/ETM+ images, the steps of hierarchical classification method are proposed. Along the steps, the categories of land surface are extracted one by one with ERDAS IMAGINE software, until obtaining the classification map of Xiamen land surface. And the results of accuracy evaluation show that the classification accuracy of Xiamen land surface is high and reaches the standard.

Second, based on Landsat and MODIS data, the land surface temperature (LST) of Xiamen is retrieved with the mono-band algorithms of QIN and Jiménez respectively. Total water vapor content of atmosphere, a parameter of the mono-band algorithms, is retrieved based on MODIS data. In the south sea area, MODIS data product of sea surface temperature (SST) is used to evaluate the accuracy of LST retrieval. The results show that Jiménez's mono-band algorithm obtains the best retrieval accuracy. The analysis of Xiamen LST shows that high temperature regions mainly appear in transport land, industrial areas, commercial centers and high-density residential areas. From 2001 to 2006, the area of Xiamen high temperature land surface expanded.

Third, Xiamen UHI effect intensity is calculated and the correlation analysis between LST and NDVI index is carried out. The results show that the UHI effect intensity of Xiamen increased. There are negative correlations between surface temperature and water, vegetation respectively. The impervious surface and the bare soil surface can heat up.

Finally, some mitigation measures are put forward to Xiamen UHI effect.

**Key Words:** Urban Heat Island; Hierarchical Classification; Mono-band Algorithms of LST Retrieval

厦门大学博士论文摘要库



# 目 录

摘 要 .....	i
第一章 绪 论 .....	1
1.1 选题背景及意义 .....	1
1.2 国内外研究进展 .....	3
1.3 本论文主要研究内容 .....	6
1.4 研究技术路线 .....	8
1.5 研究区概况 .....	9
第二章 数据源和遥感研究方法 .....	10
2.1 Landsat 遥感数据 .....	10
2.2 气象数据 .....	12
2.3 MODIS 遥感数据 .....	14
2.3.1 MODIS 大气总水汽含量数据 .....	14
2.3.2 厦门海域 MODIS 的 SST 数据 .....	16
2.4 地表土地覆盖类型分层分类法 .....	17
2.4.1 地表土地覆盖类型确定 .....	19
2.4.2 光谱特征分析 .....	20
2.4.3 归一化差异型指数分析 .....	20
2.4.4 分层分类法的实现 .....	22
2.4.5 分类精度评价 .....	22
2.5 地表温度反演法 .....	25
2.5.1 地表温度反演单波段算法 .....	27
2.5.2 单波段算法参数的确定 .....	28
2.5.3 地表温度反演的精度评价 .....	35
第三章 基于 Landsat 遥感数据的厦门市地表土地覆盖分类 .....	39
3.1 光谱特征分析 .....	39
3.2 归一化差异型指数分析 .....	41
3.3 分层分类的步骤 .....	43
3.4 分类结果 .....	43
3.5 分类精度评价结果 .....	48
第四章 基于 Landsat 遥感数据的厦门市地表温度反演 .....	50

4.1 地表温度反演步骤 .....	50
4.2 地表温度反演结果 .....	51
4.3 反演精度评价结果 .....	57
<b>第五章 厦门城市热岛效应分析及其减缓措施 .....</b>	<b>58</b>
5.1 热岛效应强度计算 .....	59
5.1.1 计算公式 .....	59
5.1.2 等级温度区划分 .....	60
5.1.3 计算结果 .....	60
5.1.4 不确定性分析 .....	61
5.2 地表温度与土地覆盖的关系 .....	63
5.2.1 等级温度区的空间分布 .....	63
5.2.2 不同等级温度区的土地覆盖分布 .....	65
5.2.3 地表温度与 NDVI 指数的相关性分析 .....	67
5.3 厦门市城市绿线控制规划减缓热岛效应的案例分析 .....	68
5.4 城市热岛效应减缓措施 .....	70
<b>第六章 结论与展望 .....</b>	<b>71</b>
6.1 主要结论 .....	71
6.2 未来展望 .....	73
<b>参考文献 .....</b>	<b>74</b>
<b>致    谢 .....</b>	<b>80</b>

# Contents

<b>Abstract.....</b>	<b>i</b>
<b>Chapter 1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 Background and Significance .....	1
1.2 Progress at Home and Abroad .....	3
1.3 Main Contents of This Study .....	6
1.4 Technical Framework .....	8
1.5 Overview of Study Area.....	9
<b>Chapter 2 Data Sources and Remote Sensing Methods .....</b>	<b>10</b>
2.1 Landsat Data .....	10
2.2 Meteorological Data.....	12
2.3 MODIS Data.....	14
2.3.1 Total Atmospheric Water Vapor Content of MODIS .....	14
2.3.2 Sea Surface Temperature (SST) of MODIS in Xiamen's Sea Area .....	16
2.4 Hierarchical Classification of Land Covers .....	17
2.4.1 Determine Land Covers .....	19
2.4.2 Spectral Characteristics Analysis .....	20
2.4.3 Normalized Difference Indexes Analysis .....	20
2.4.4 Realization of Hierarchical Classification .....	22
2.4.5 Accuracy Evaluation of Classification.....	22
2.5 Retrieval Methods of Land Surface Temperature (LST).....	25
2.5.1 Mono-band Algorithms of LST Retrieval.....	27
2.5.2 Parameters of Mono-band Algorithms.....	28
2.5.3 Accuracy Evaluation of LST Retrieval .....	35
<b>Chapter 3 Xiamen Land Covers Classification Based on Landsat</b>	
<b>Data.....</b>	<b>39</b>
3.1 Spectral Characteristics Analysis .....	39
3.2 Normalized Difference Index Analysis.....	41
3.3 The Steps of Hierarchical Classification .....	43
3.4 The Results of Classification .....	43
3.5 The Results of Classification Accuracy Evaluation .....	48

<b>Chapter 4 Xiamen LST Retrieval Based on Landsat Data</b>	<b>50</b>
4.1 The Steps of LST Retrieval	50
4.2 The Results of LST Retrieval	51
4.3 The Results of LST Retrieval Accuracy Evaluation	57
<b>Chapter 5 Xiamen UHI Effect and Mitigation Measures</b>	<b>58</b>
5.1 Heat Island Intensity Calculation	59
5.1.1 Formula	59
5.1.2 Grade Temperature Zones	60
5.1.3 Results	60
5.1.4 Uncertainty Analysis	61
5.2 Relationship between LST and Land Use	63
5.2.1 Distribution of Grade Temperature Zones	63
5.2.2 Distribution of Land Covers in Gade Temperature Zones	65
5.2.3 Correlation Analysis between LST and NDVI Index	67
5.3 Scenario Analysis on Xiamen Urban Green Line Plan Slowing Down UHI Effect	68
5.4 Mitigation Measures	70
<b>Chapter 6 Conclusions and Outlook</b>	<b>71</b>
6.1 Conclusions	71
6.2 Outlook	73
<b>References</b>	<b>74</b>
<b>Acknowledgements</b>	<b>80</b>

## 第一章 绪 论

### 1.1 选题背景及意义

1980 年被设立为经济特区后,厦门市经济快速发展。进入 20 世纪 90 年代,厦门市经济增长更加迅速,GDP 从 1990 年的 57 亿元增长到 2005 年的 1007 亿元,年平均增长率为 21%。在经济发展带动下,厦门从一个小渔村变为海湾型大城市。随着经济建设的快速发展,厦门城市化进程加快,城区扩展迅速。厦门城市扩展造成大量绿地消失,水域面积减少,而城市不透水面积剧增。城市内部高楼林立,容纳大量人口,机动车数量庞大;城市外围工业发展迅速<sup>[1]</sup>。

城市化影响地表气候,纽约城市的巨大发展可使午后近地表温度增加 0.6℃以上<sup>[2]</sup>。近来,科威特频繁地出现夏季气温超过 50℃的严酷气候现象。特别在过去 20 年,最高年气温持续超过有数据记录以来的平均值。城市升温表现出白天和晚上两种现象,其最高、平均和最低温度都有很大地增加。评估认为城市最高温度上升了 25%<sup>[3]</sup>。在中国南部城市,特别是在百万人口城市如上海、杭州等,伴随城市化出现的户外气温升高已成为一个严重问题。最近 40 年,上海热岛面积扩展了 7-8 倍,热岛强度达到了 6℃。

尽管与一些大城市相比,厦门城郊温差还不是很大,但城区热岛效应已经形成<sup>[4]</sup>。从 2003 年美国陆地资源卫星 5 号拍摄到的厦门热红外波段图像及各种监测数据分析表明,厦门城市“热岛效应”明显,从 4 月份起,厦门城区的多处区域就开始出现高温迹象,尤其进入 7、8、9 月份的酷热季节最为明显。每年到 7、8、9 月份酷热季节,厦门城区一些地方的温度要比仙岳山等自然环境高出 3~5℃。

除了城市化导致的当地气候变化,城市气温上升的部分原因被认为是全球气候变化。研究发现 20 世纪地球表层大气温度上升 0.6℃~0.7℃<sup>[5]</sup>。而且在接下来的 50 年地球表层大气温度将上升  $0.75 \pm 0.25$ ℃<sup>[6]</sup>;政府间气候变化小组(IPCC)预测在未来 100 年里全球气温会持续升高,到 2100 年气温上升 1.4~5.8℃<sup>[7]</sup>。在全球变暖的大背景下,近十五年来厦门全年平均气温呈上升趋势;特别地,厦门极端最高气温上升迅速,从 1989 年的 35.1℃上升到 2005 年的 39.0℃,

升幅达 3.9 °C，而且，最近五年（2000-2005）厦门极端最高气温上升更快（图 1-1 和图 1-2）<sup>[1]</sup>。除了全球变暖的影响，城市热岛效应也是造成厦门市城区气温升高的一个重要原因。

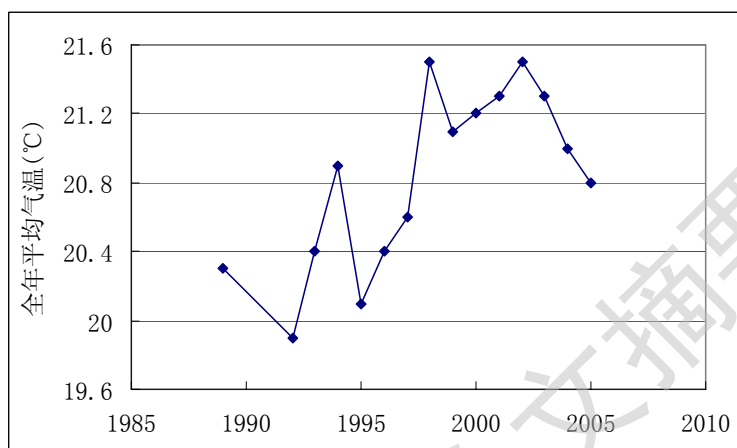


图 1-1 近年来厦门市全年平均气温变化趋势图

Fig. 1-1 The trend of annual average temperature in recent years, Xiamen

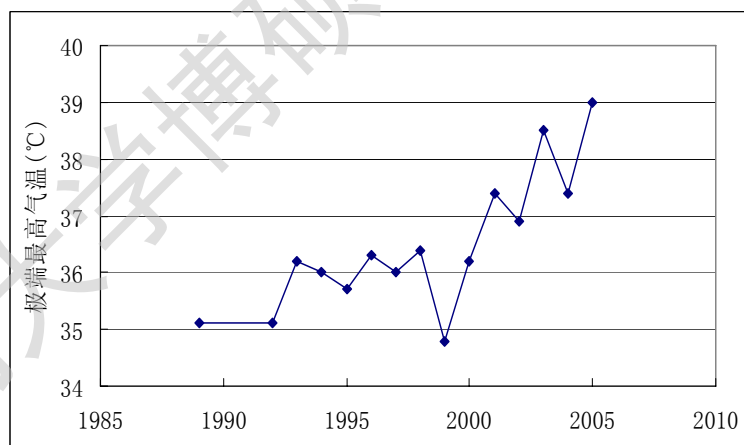


图 1-2 近年来厦门市极端最高气温变化趋势图

Fig. 1-2 The trend of extreme maximum temperature in recent years, Xiamen

研究表明，户外气温升高可造成用于室内照明和空调系统的能耗增加；这些新增能源产生的 CO<sub>2</sub> 等温室气体排到大气，又反过来促使户外热环境恶化和造成能源短缺<sup>[8]</sup>。在美国一些城市，气温每升高 1 °C 城市用电需求量上升 2~4%，因此，当前城市用电需求量的 5~10% 是用来给建筑物降温，用于补偿城市气温

上升  $0.5\sim 3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  带来的后果。研究发现,热岛效应的缓解可有效地减少美国空调用电的 20% 和每年节省能源 100 亿美元,且会改进空气质量<sup>[9]</sup>。雅典中心城区建筑物夏季时冷却用电量是郊区的两倍,冬季时取暖用电量比郊区的节省 30~55%<sup>[10]</sup>。Sailor (1997)等评估电和天然气用量与地区气候变化的关系时,发现住宅用电量与气候变量存在最小平方的线性回归关系<sup>[11]</sup>。香港研究显示,气温升高  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,民用、商业和工业部门的用电量分别增加 9.2%, 3.0% 和 2.4%<sup>[12]</sup>。因此城市热岛效应造成的能源损耗是相当可观的,特别是在高温季节。

有效地控制城市热岛效应可降低因热岛效应造成的城市能源损耗,基于此,本研究试图分析厦门市城市热岛效应的情况,分析厦门市地表温度与土地覆盖的相关关系,从而提出减缓厦门市城市热岛效应的措施。

## 1.2 国内外研究进展

城市热岛是指在气温上,城区气温高,郊区低,城市在温度空间分布上犹如一个温暖的岛屿。Howard (1833) 通过对比伦敦城市和郊区的气温观测值就发现,城区平均气温明显高于乡村<sup>[13]</sup>。许多学者对城市热岛效应作了大量研究,得出了城市热岛效应与城市人为热释放、下垫面性质和结构、人口密度、天气状况等有密切关系,并且伴随着城市化进程的继续,城市热岛强度及规模会日益加剧。

### (1) 城市热岛效应研究的主要内容

#### ① 城市热岛效应机制

城市热岛的形成、发展及其空间分布受到多种因素的影响。城市热岛效应机制研究的目的就在于通过分析城市热岛背后的各种驱动力,最终揭示城市热岛的形成、发展变化的驱动机制。许多学者通过卫星数据获得与城市热岛相关的影响因子,尝试建立城市热岛与其各种可能的影响因子(如土地覆盖类型、NDVI 值、人口密度等)的定量关系。Balling (1988)等利用 AVHRR 图像分析阿塞拜疆地区辐射温度的分布,发现地表辐射温度分布与土地类型特征直接相关<sup>[14]</sup>。周红妹 (2001) 等对上海市热岛效应分布特征与土地利用类型关系进行空间对比分析,得出具有水泥、瓦片结构的建筑物、广场、居民地、桥面、道路等介质具有较高的亮温,而以土壤为主的裸地、植被等介质亮温低于城镇用地,亮温最低的介质为水体<sup>[15]</sup>。Weng (2004)等研究发现,除水体外,NDVI 与各种下垫面类型的地

表辐射温度呈负相关, 两者关系大小与研究尺度有关<sup>[16]</sup>。Mitchell (1961)通过美国 77 个城市的资料证明城市最大热岛效应强度与城市人口密度的平方根呈正相关<sup>[17]</sup>。Streutker (2003)分析了休斯敦市的地表温度和人口密度的分布特征, 每平方千米人口增加 1000 人, 则温度升高 0.71 °C<sup>[18]</sup>。但是, 从根本上讲, 这些研究是基于统计意义的方法。

与统计模型不同, 以热力学和动力学为理论基础的数值模型是进行地表能量通量与温度场时空变化分析的机理模型。国外学者已经开始尝试结合遥感数据和边界层模式来模拟城市热岛的形成过程和发展变化<sup>[19]</sup>。Hafner (1999)等利用 AVHRR 数据反演了反照率、土壤热通量和水汽有效度等地表参数, 并将其带入一中尺度流体静力学三维模型中, 进行城市热岛的模拟研究<sup>[20]</sup>。Yang (2000)结合通过 NOAA 和 Landsat 卫星获取的地表参数和 Carlson 一维模型来模拟地表面空间的能量交换, 并得到了同真实情况相近的地表温度空间分布、净辐射分布以及湍流热通量<sup>[21]</sup>。

## ② 城市热岛效应演变

目前该方面研究表现在城市热岛效应时空变化特征和演变机制。Streutker (2003)利用 207 景 AVHRR 数据分析美国休斯敦市 1985~2001 年城市热岛效应强度和范围的变化, 表明热岛强度增加了 0.8 °C, 范围由 38% 扩展到 88%<sup>[18]</sup>。陈云浩 (2004) 等运用分形方法及景观指数分析上海城市热岛效应分布的变化特征, 探讨上海热岛效应增长时空特征<sup>[22]</sup>。Weng (2001)对比分析珠江三角洲地区 1989~1997 年城市土地利用与热岛效应的空间关系, 城市扩展导致地面温度增加了 13.01 °C, 且城市热岛效应空间格局变化与城市扩展密切相关<sup>[23]</sup>。若在能源规划、能源政策、开发模式、交通规划与交通政策、绿化等方面采取有效措施, 可有效减缓和控制城市热岛效应及其产生的负面影响。徐涵秋 (2004) 等对厦门城市热岛演变研究表明, 厦门城市热岛范围虽逐渐扩大, 但近年城市绿化面积的增加及老城区的改造使热岛强度呈降低趋势<sup>[24]</sup>。

## (2) 城市热岛效应研究的主要方法

### ① 城市热岛效应的气象观测法

热岛效应最初是在气象观测中发现并采用气象观测方法进行研究的, 通过收集的气象观测资料来分析热岛强度和分布, 是研究城市热岛效应的经典方法。该



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库